

ASPECTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA BIORREFINARIA COMO ALTERNATIVA PARA MELHORAR A MATRIZ ENERGÉTICA

SANTOS, Clara Virgínia Marques¹; RUZENE, Denise Santos²; SILVA, Daniel Pereira³

¹ Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Sergipe, clmarques02@gmail.com

² Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, ruzeneds@hotmail.com

³ Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Sergipe, silvadp@hotmail.com

Resumo: O Brasil é um país pioneiro do setor agrícola, tendo grande parte do seu retorno econômico originado nesse setor. A biomassa é um recurso altamente sustentável e que quando aplicado a biotecnologia adequada é capaz de gerar energia, combustíveis e produtos químicos altamente rentáveis que podem até mesmo substituir a matriz energética atual. Os resíduos de biomassa são ainda mais promissores nesses quesitos tendo em vista que os mesmos são rejeitados e por isso não apresentam valor a cadeia econômica, uma fonte alternativa e que seria descartada podendo se transformar em um valor agregado. Neste contexto, o principal objetivo deste artigo foi discutir propostas e conceitos de biorrefinaria, aplicações, matérias-primas e impactos econômicos gerados na matriz energética de um país citando como exemplo os dois principais tipos atuais de biorrefinaria, de bioetanol e de biodiesel.

Palavras-chave: Biorrefinaria; Biomassa; Bioetanol, Biodiesel.

ASPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF A BIORREFINARIA AS AN ALTERNATIVE TO IMPROVE THE ENERGY MATRIX

Abstract: Brazil is a pioneer country of the agricultural sector, having a great part of its economic return originated in this sector. Biomass is a highly sustainable resource and when applied to the right biotechnology is able to generate energy, fuel and highly profitable chemicals that can even replace the current energy matrix. Biomass residues are even more promising in these questions, since they are rejected and therefore do not present value to the economic chain, an alternative source that would be discarded and could become an added value. The main objective of this article is to propose the concept of biorefinery, applications, raw materials and economic impact that it is capable of generating in the energy matrix of a country, citing as example the two main current types of bio-refinery bioethanol and biodiesel.

Keywords: Biorefinery; Biomass; Bioethanol; Biodiesel.

1 Introdução

Nos dias atuais a maior fonte de energia mundial são os combustíveis fósseis o que leva a uma grande preocupação com o seu esgotamento, além disso, tais combustíveis são considerados um dos principais causadores do aumento dos GEE (Gases de Efeito Estufa) Com isso, muito se comenta em relação a substituição desses combustíveis, por matrizes energéticas renováveis que tenham o mesmo potencial e que não apresentem características que sejam desagradáveis ao meio ambiente. A biomassa é uma fonte energia, considerada limpa e que apresenta grande valor agregado, podendo ser utilizada na produção de biocombustíveis por intermédio de sua composição.

Esgotamento de reservas de combustíveis e a preocupação em relação a condição climática global acelera o desenvolvimento de energias renováveis, alguns dos grandes produtores dessas energias estão na atualidade se direcionando para a produção de recursos principalmente o bioetanol, o biodiesel e o biogás, combustíveis derivados da biomassa. No futuro, principalmente devido a indisponibilidade de materiais, a refinaria a base de petróleo terá seu nível de produção reduzido (SARMA *et al.*, 2015).

Carey *et al.* (2016) afirmam que vivemos em uma era dominada pela humanidade e essa dominação provoca alteração nos ciclos biogeoquímicos principalmente os ciclos tidos como essenciais como o do carbono, fósforo e o da água. O crescimento da população global causa preocupações com a falta de recursos ambientais e os impactos econômicos e políticos que isso pode acarretar, sendo assim existe a necessidade de um desenvolvimento mais sustentável e as biorrefinarias são capazes de fornecer esses subsídios a partir da produção de recursos renováveis.

A biomassa pode ser compreendida como uma das poucas fontes viáveis frente aos recursos fósseis para a produção de combustíveis de transporte e produtos químicos porque detém de uma boa quantidade de carbono em sua matriz. O principal objetivo de uma biorrefinaria é transformar estes materiais abundantes e disponíveis em produtos úteis pela combinação de diversas tecnologias (RODRIGUES, 2011).

A biomassa do tipo lignocelulósica é obtida a partir de resíduos de biomassa, como por exemplo: folhas, cascas, caules, palhas, bagaço, talos, entre outros, esses recursos em geral não são aproveitados e por isso rejeitados. A implantação de uma biorrefinaria traria a utilização desses resíduos para produção de energia e produtos da indústria química, tendo em vista que a maioria deles são compostos por lignina, celulose e hemicelulose, que com o tratamento

adequado aplicado em biorrefinarias seria capaz de conversão destes ou de suas frações em bioprodutos eficazes .

Uma biorrefinaria deve produzir variados produtos comercializáveis e também energia. Os produtos podem ser tanto intermediários e finais como alimentos, ração e produtos químicos, enquanto que a energia deve estar na forma de combustível ou calor. A principal questão das biorrefinarias tem sido a criação de biocombustíveis que devem ser adicionados aos combustíveis de transportes afim de deixá-los menos poluentes, com uma melhor infraestrutura e com menor custo (JONG e JUNGMELE, 2015).

Dentro deste contexto, o presente estudo apresenta uma breve revisão da literatura e discussão em relação a relevância e a necessidade de uma maior aplicação de biorrefinarias, abordando critérios de implantação, matérias primas, tipos de biorrefinarias, além de apresentar os dois maiores tipos de biorrefinarias, as de bioetanol e as de biodiesel.

2 Conceito de biorrefinaria

Uma verdadeira biorrefinaria é um complexo integrado que produz uma série de produtos a partir de uma variedade de matérias-primas (CHEMICAL ENGINEERING). Mocada *et al.* (2016) afirmam, em uma definição mais ampla, que as biorrefinarias utilizam todo tipo de biomassa, ou seja, todos os resíduos orgânicos, cultural energético e biomassa aquática, para obter numerosos produtos dentre eles: combustíveis, produtos químicos, energia, calor, materiais e alimentos para animais.

A biorrefinaria é considerada uma tecnologia de desenvolvimento sustentável da cadeia de valor da biomassa, levando em consideração as seguintes perspectivas: redução do consumo de combustíveis fósseis e a conversão de biomassa em biocombustíveis, recirculação de energia produzida dentro da biorrefinaria, otimização da conversão da biomassa para produtos que garantam melhores retornos econômicos e ambientais, aumento da sustentabilidade da produção agrícola, minimização das questões prevaletentes de alimentos, melhor utilização do solo e por fim, se poder priorizar uma plataforma de biorrefinaria específica a depender do mercado, das necessidades socioeconômicas e dos problemas ambientais de um país (PARAJULI *et al.*, 2015).

Para Budzianowski (2016), as biorrefinarias são como as refinarias de petróleo convencionais que tem como diferença o fracionamento de uma matéria-prima renovável como biomassas específicas para produzir principalmente combustíveis de transporte comercializáveis. As biorrefinarias irão integrar indústrias de combustíveis, produtos químicos

e energia, serão biofábricas, uma espécie de bioconglomerados de vários produtos que tem por principal finalidade converter a biomassa em uma gama de bioenergias úteis e bioprodutos.

Pérez *et al.* (2017) afirmam que existem três fases de biorrefinarias: a biorrefinaria de fase I, que utiliza uma única matéria-prima e um processo de transformação fixo, a biorrefinaria de fase II, que também utiliza uma única matéria-prima, no entanto é capaz de produzir diversos tipos de produtos finais de acordo com seus limites operacionais, e a biorrefinaria de fase III, que utiliza diversos tipos de matérias-primas e permite a produção de muitos produtos industriais. As biorrefinarias de fase II e fase III são capazes de responder rapidamente as necessidades do mercado, porém apresentam instalações bastantes complexas.

3 Importância econômica da implantação de uma biorrefinaria

Para que uma biorrefinaria seja bem desenvolvida existem várias técnicas, estratégias e desafios comerciais que devem ser superados e isso exige prazos longos e esforços conjuntos de todas as partes interessadas, sejam elas ONGs, governos ou unidades acadêmicas, fazendo com que não existam lacunas entre elas que impeçam o desenvolvimento de tecnologias emergentes para o crescimento econômico baseado em bioprodutos (RATHORE *et al.*, 2016).

De acordo com Liguero e Faraco (2016), a evolução da economia global dependeu do conceito de economia linear que tem como base a utilização de recursos fósseis, como petróleo, carvão e gás natural, constituindo um fluxo linear que segue a seguinte ordem: primeiro a utilização dos recursos virgens para produção de bens, segundo o uso dos bens, terceiro os descartes dos bens como resíduo não mais utilizável.

O problema deste tipo de economia está principalmente associado a não utilização do bem quando ele vira resíduo e também da sua limitação de fornecimento. O esgotamento do petróleo, carvão e gás está para os próximos 35, 107 e 37 anos respectivamente, isso faz com que as necessidades futuras da população não sejam atingidas. A construção de biorrefinarias no lugar das refinarias de petróleo abre uma oportunidade para produção de novos combustíveis a partir de recursos renováveis que são capazes de sanar os problemas ambientais e da população como um todo através da sua produção e aplicação (LIGUIRO e FARACO, 2016)

O conceito de biorrefinaria deve ser introduzido nas usinas produtoras de biocombustíveis principalmente porque pode levar a uma redução dos custos, além de causar uma independência de mercado, dado as biorrefinarias não precisarem depender de um único produto, poder de agregar valor a um material antes considerado resíduo e aumento dos lucros (ALVIM *et al.*, 2014).

Bioprodutos de alto valor podem levar a um grande crescimento da indústria de biorrefinamento e contribuir o desenvolvimento de economias sustentáveis, fornecendo potencialidades para um forte crescimento e sendo capaz de competir com novos mercados. A economia baseada em biocombustíveis é uma mudança capaz de desenvolver diversas linhas de negócios (BUDZIANOWSKI, 2016).

4 Critérios para implantação de uma biorrefinaria

Para Mocada *et al.* (2016), nas últimas décadas as linhas de refino desenvolveram centenas de produtos, em termos gerais as metodologias de concepção de produtos devem avaliar os materiais, as tecnologias, produtos, rotas de processamento, análise econômica, ambiental e energética para obter uma melhor configuração do processo, portanto acoplado a esses fatores as biorrefinarias devem incluir esquema de adoção de três conceitos: hierarquia, sequência e integração.

De acordo com Díaz *et al.* (2017) alguns fatores devem ser levados em consideração para determinação do local a ser aplicada uma biorefinaria. No caso mais geral, as localizações das áreas de cultivo da biomassa se confundem com o local final de instalação da biorefinaria. Devem ser considerados e reconciliados alguns fatores para sua instalação:

a. determinação das áreas de cultivo da biomassa, b. o tipo de biorecurso que será cultivado, c. os tipos de terras que se tem disponível, d. recursos hídricos, e. energia, f. infra-estrutura, g. aspectos socioeconômicos.

As demonstrações de biorrefinaria dependem da seleção dos produtos, do que deve ser demonstrado, da tecnologia e por fim, do poder determinar os produtos a serem selecionados. Nas biorrefinarias as matérias-primas, os produtos e as tecnologias, devem ser implementados logo no projeto da planta (KOJOSSIS *et al.*, 2015).

Segundo Parajuli *et al.* (2015), a sustentabilidade de uma biorrefinaria requer a investigação em alguns processos como: a inovação viável de um sistema de exploração agrícola pra manter um fornecimento acessível de matéria-prima, salientando que essa inovação deve incluir o aumento da colheita e os fatores que afetam a produção, e o outro processo seria uma inovação viável na conversão da biomassa para produzir biocombustíveis que tenha a mesma eficiência quando comparado aos combustíveis fósseis.

5 Matérias-primas utilizadas em uma biorrefinaria

Não existe uma regra universal para escolha de matérias-primas, essa escolha é ditada por muitos fatores como: condições climáticas, localização, situação socioeconômica e

questões políticas e governamentais. O suprimento de matérias-primas para as biorrefinarias devem ter uma certa sustentabilidade e estar em conformidade com alguns parâmetros, essa alimentação das biorrefinarias precisa de culturas dedicadas seja ela da agricultura, silvicultura, além de resíduos de uma variedade de ofertas. Uma biorrefinaria se torna mais sustentável se tiver uma quantidade de matérias-primas diversificada (GHATAK, 2011). Neste contexto, a matéria-prima de uma biorrefinaria pode ser qualquer matéria orgânica de fontes renováveis que possa ter finalidades industriais, tendo inúmeras possibilidades de conversão e diversos esquemas de operação (PÉREZ *et al.*, 2017).

Ghatak (2011) afirma que a plena realização do potencial da utilização de qualquer biomassa requer um conjunto complexo de transformação, sendo que os diversificados produtos precisam de uma combinação de processos de biorrefinaria, entre eles, os termoquímicos, bioquímicos e químicos, além de uma multidão de processos físicos como pré-tratamento da matéria-prima.

As principais fontes de matéria-prima para biorrefinaria são as biomassas, sendo esta formada principalmente por carboidratos, lignina, proteínas, gorduras e em menor proporção por substâncias como terpenos alcaloides, pigmentos, vitaminas e flavorizantes (RODRIGUES, 2011).

Para King *et al.* (2010), os produtos de uma biorrefinaria podem ser obtidos a partir de várias matérias-primas e os produtos podem ser classificados como de primeira e segunda geração, sendo os de primeira geração os produtos que utilizam a biomassa comestível (plantas ricas em amido ou oleosas), e os de segunda geração os produtos que utilizam biomassa constituída de resíduos não alimentares, esses são altamente vistos como potencial produtos a serem comparados com a eficiência dos combustíveis fósseis.

King *et al.* (2011) dividem as biorrefinarias de acordo com as matérias-primas de biomassa que mais são utilizadas, sendo assim ele aponta:

- a) Açúcar e cultura de amido: as biorrefinarias mais comum utilizam a cultura rica em açúcar e amido, geralmente utilizam a cana-de-açúcar e a beterraba que apresentam grandes quantidades de sacarose que podem ser facilmente convertidas em etanol ou em outros produtos químicos. O milho, o trigo e a mandioca grandes fontes de amido, podem também ser convertidos em combustíveis. Os produtos a base dessas matérias-primas são considerados de primeira geração.
- b) Óleo vegetal: utilizado principalmente para a produção de biodiesel através do processo de transesterificação. Os óleos são obtidos a partir de resíduos de plantas puras, a partir de culturas dedicadas a produção de óleo como palma, soja e semente de girassol e

também óleos originados de resíduos domésticos, como óleo de cozinha, ou de gordura vegetal, esses últimos necessitam de refinamento e hidrogenação para ser utilizado na produção de biodiesel.

- c) Biomassa lignocelulósica: é um tipo de material vegetal não comestível que apresenta principalmente, celulose, hemicelulose e lignina. Produzem produtos de segunda geração, principalmente biocombustíveis. Essas matérias-primas são de difícil conversão, sendo primeiramente convertida em outro tipo de biomassa, para depois ser feito o biocombustível.
- d) Óleo de mamona: é oriundo de uma árvore bastante presente na América Central e do América do Sul que apresenta cerca de 40% de óleo não comestível que pode ser facilmente convertido através do processo de transesterificação para produção de biodiesel.

Em geral, a utilização e a produção de biomassa acabam por gerar resíduos em grandes quantidades denominados resíduos lignocelulósicos, como serragem, palha, sabugo de milho, bagaço de cana, entre outros. Muitas vezes esses resíduos são esquecidos ou depositados no meio ambiente inadequadamente gerando perda de matéria-prima e energia (RAMOS *et al.*, 2011).

Os resíduos lignocelulósicos não têm elevados custos e não apresentam uma gestão de exploração pré-estabelecida, essas culturas energéticas são consideradas neutras pelo fato de serem originadas de maneira sustentável podendo ser facilmente convertida em produtos energéticos, quando submetidas a biotecnologias adequadas de uma biorrefinaria (ZABANITOU *et al.*, 2010).

Assim, cabe ressaltar, que atualmente podem ser definidas como existindo duas grandes produções de combustíveis que são feitas em biorrefinarias: o bioetanol e o biodiesel. A seguir serão explanados alguns quesitos sobre esses produtos.

6 Produção de bioetanol

As reduções de gases de efeito estufa chegam a dez por cento com a utilização de bioetanol e a maior emissão acontece em sua produção e não em sua utilização, com relação a matéria-prima os resíduos agrícolas como palha de milho e trigo chegam a reduzir as emissões em cerca de 82 a 91% (MORALES *et al.*, 2015).

Sirajunnisa e Surendhiran (2016) afirmam que a produção de bioetanol é dividida em três gerações que depende do tipo de matéria-prima de biomassa que está sendo utilizada. O bioetanol de primeira geração é originado da fermentação de amido de trigo, cevada, milho,

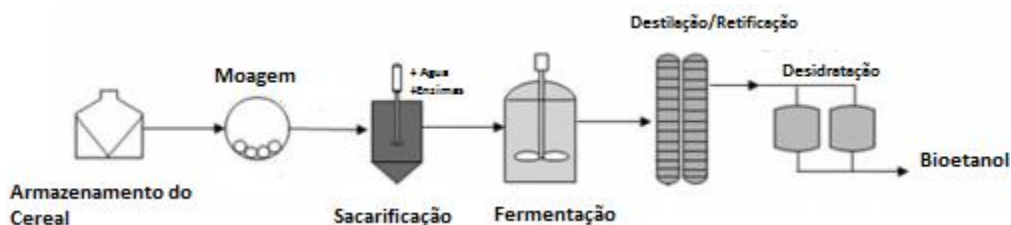
batata, cana-de-açúcar e beterraba, por exemplo, que são materiais que podem ser utilizados diretamente como alimento. O bioetanol de segunda geração tem como matéria-prima materiais lignocelulósicos como palha, madeira e capim, por exemplo, que podem ser utilizados diretamente na alimentação de animais. O bioetanol de terceira geração é oriundo da fermentação da celulose de algas e microalgas marinhas.

Dentre os diversos produtos produzidos por uma biorrefinaria um que apresenta destaque e importância é a produção de etanol (sendo referido atualmente como bioetanol), principalmente por ser utilizado como combustível líquido de transporte. Existem três tipos de biomassa que é mais convencionalmente utilizada nas biorrefinarias para essa produção: biomassa lignocelulósica básica, biomassa lignocelulósica integrada, e alguns cereais como o milho (HUANG *et al.*, 2008).

Outra fonte de matéria-prima é a mandioca que está entre as maiores culturas de amido do mundo e os resíduos gerados por diferentes indústrias baseadas na mandioca pode ser utilizada como fonte importante para produção de bioetanol e outros produtos químicos (ZHANG *et al.*, 2016). Um mercado que está muito em ascensão ultimamente é a produção de bioetanol a partir de algas (microalgas ou macroalgas), principalmente por ser uma fonte biológica que supera os problemas climáticos e também o desenvolvimento sustentável global devido a não trazer perda de oferta alimentar mundial (SIRAJUNNISA e SURENDHIRAN, 2016).

Para Chatzifragkou *et al.* (2015), o processo de produção de bioetanol a partir de cereais em biorrefinarias pode ser feito de maneira simplificada, como mostrado na Figura 1; ainda segundo estes autores os principais processos são o armazenamento do cereal, moagem, sacarificação, fermentação, destilação, retificação e desidratação.

Figura 1 – Esquema de uma biorrefinaria de bioetanol



Fonte: Adaptado de CHATZIFRAGKOU *et al.* (2015)

As tecnologias utilizadas para a geração de bioetanol envolve duas principais etapas: a conversão da luz solar em energia, tais como carboidratos e lipídios; e a conversão da energia em biocombustível, essas duas etapas encarecem a produção (SILVA e BERTUCCO, 2016).

De acordo com Jambo *et al.* (2016), existem processos que podem ser utilizados na produção de bioetanol, como os processos de hidrólise enzimática devido ao seu razoável custo econômico e por ter poucos impactos negativos no meio ambiente, e também processos com micro-organismo na fermentação, que desempenham um melhoramento na conversão de açúcares em bioetanol.

A produção de bioetanol pode ter uma significância maior quando trabalhada com tecnologias integradas principalmente quando o objetivo é deixar a tecnologia mais atraente, essas tecnologias incluem: (i) tecnologias com fracionamento seletivo, usando pré-tratamento específico como explosões de vapor para biomassa lignocelulósica, (ii) sistema sinérgico de hidrólise enzimática, (iii) utilização de cepas de leveduras na fermentação, (iiii) pré-hidrólise, sacarificação e segunda fermentação simultâneas. Para essas tecnologias integradas podem ser utilizada como matéria-prima substratos mais baratos como os resíduos agrícolas (palha de milho palha de trigo, palha de arroz e bagaço de cana) (CHEN e FU, 2016).

Quando se traz a produção de bioetanol para o cenário brasileiro a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) afirma que o Brasil produziu cerca de 28,66 bilhões de litros de etanol nos anos de 2014/2015 e que se estima que para os anos seguintes seja de 29,21 bilhões de litros.

7 Produção de Biodiesel

Nos dias de hoje o biodiesel é utilizado percentualmente com o diesel convencional e formam misturas denominadas: B10 (em que 10% é biodiesel e 90% é diesel), B20 (em que 20% é biodiesel e 80% é diesel), B40 (em que 40% é biodiesel e 60% é diesel) e B50 (em que 50% é biodiesel e 50% é diesel) (SUNDUS *et al.*, 2017). Segundo Oliveira e Coelho (2016), a produção de biodiesel pode ser uma maneira de melhorar a qualidade do ar se usado nos transportes públicos e em veículos de passeios. No Brasil, por exemplo vem sendo utilizada a tecnologia *flex-fuel*, em que os veículos podem ter em seus tanques uma flexibilidade maior do combustível, utilizando somente gasolina, somente etanol ou uma combinação dos dois, de acordo com o gosto do proprietário e preço do combustível. A principal ideia é que se possa tornar o biodiesel uma dessas opções.

Oleoginosas é uma das principais matérias-primas para a produção de biodiesel ou outros combustíveis líquidos com propriedade semelhantes (PINEDA *et al.*, 2016). Outra matéria-prima que tem ganhado destaque ultimamente é a utilização de microalgas para produção de biodiesel por causa da necessidade da busca de fontes benéficas de biodiesel já

que essas fontes não competem com as culturas alimentares, abordando o contexto social da produção agrícola. (ABOMOHRA *et al.*, 2016).

De acordo com Sajjadi *et al.* (2016), cerca de 75% do custo total da produção do biodiesel é dedicado a matéria-prima, elas podem ser divididas em quatro principais fontes: (i) óleo vegetal comestível, (ii) óleo vegetal não comestível, (iii) resíduos, (iiii) gordura animal. Todavia, 95% do biodiesel mundial é produzido a partir de óleos vegetais, sendo a colza a principal fonte com 84%, seguida do óleo de girassol com 13%, óleo de soja com 1% e outras oleaginosas com 2%. A produção de biodiesel a partir de óleo não comestível ajudaria na viabilidade de uma maior produção conduzindo uma melhoria do abastecimento alimentar (BABAZADEH, 2016).

De maneira geral a produção de biodiesel ocorre por intermédio de um processo de transesterificação, quando um triglicerídeo reage com metanol e se reduz para um éster metílico e glicerol na presença de um catalisador, o glicerol é removido como subproduto e os ésteres produzidos são o biodiesel (SUNDUS *et al.*, 2017).

Uma das principais questões que afetam a produção de biodiesel está no uso da matéria-prima já que o biodiesel é produzido principalmente de óleos vegetais extraídos da biomassa e não existe quantidade suficiente desses óleos para substituição completa do diesel oriundo do petróleo, e além disso muito se discute a cerca de que a produção de óleos vegetais comestíveis pode aumentar de preço e também reduzir a quantidade de terras agrícolas utilizadas para produção de alimentos (KNOTHE e RAZON, 2017).

No entanto, o nível de ocupação de terras com plantas para a produção de biodiesel deve ser altos, se a ocupação for baixa a saúde financeira do setor pode ser comprometida e a falta de previsibilidade no atendimento a demanda de biocombustíveis pode não ser atendida (OLIVEIRA e COELHO, 2016).

Ramukar e Kirubakaran (2016), apontam as principais vantagens do biodiesel, que são: o biodiesel é uma fonte de energia renovável e está disponível para ser produzida em maior parte do mundo; as emissões de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, partículas químicas, fuligem e exonfre são mínimas; a maioria das misturas de biodiesel e diesel podem ser utilizada em motores convencionais sem grandes modificações.; a viscosidade do biodiesel melhora a lubrificação e aumenta o tempo de vida útil do motor e o biodiesel é um combustível neutro de carbono.

Das desvantagens Ramukar e Kirubakaran (2016) citam: o oxigênio presente no biodiesel gera corrosão na linha de produção e também reduz o poder calorífico do combustível; o uso de biodiesel aumenta a eliminação de compostos a base de nitrogênio; requer energia para

colheita, transporte e extração do óleo da biomassa; o glicerol produzido polui o meio ambiente; o biodiesel é menos estável que o diesel e o biodiesel deve ser armazenado em locais não convencionais para que ele não corroa e reaja com o material formando outros compostos.

8 Considerações Finais

Com o aumento do consumo global de energia e por consequência uma maior depreciação dos recursos naturais e mudanças climáticas, há uma maior preocupação com a frequência de catástrofes, e assim uma preocupação também por soluções viáveis e sustentáveis. Percebe-se que uma das soluções passa necessariamente por implementação de biorrefinarias, em especial por uso de biomassas residuais, sendo capazes de suprir toda a matriz energética dos combustíveis fósseis. A aplicação de biorrefinarias é urgente e precisa atender a maioria das questões ambientais e satisfazer as necessidades socioeconômicas.

Referências Bibliográficas

- ABOMOHR A. E., JIN W., TU R., HAN S., EID M., ELADELH.; Microalgal biomass production as a sustainable feedstock for biodiesel: Current status and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 64, p. 596-606, outubro 2016.
- ALVIM J. C., ALVIM F. A. L. S., SALES V. H. G., SALES P. V. G., OLIVEIRA E. M., COSTA A. C. R.; Biorrefinarias: Conceitos Classificação, matérias primas e produtos. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 1, n 3, p. 61-77, 2014.
- B. MONCADA J., M, ARIZTIZÁBAL V., CARDONA A.; Design strategies for sustainable biorefineries. **Biochemical Engineering Journal**, v. 116, p. 122-134, 15 dezembro 2016.
- BABAZADEH R.; Optimal design and planning of biodiesel supply considering non-edible feedstock. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, novembro 2016, in press.
- BUDZIANOWSKI W. M.; High-value low-volume bioproducts coupled to bioenergies with potential to enhance business development of sustainable biorefineries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 4 dezembro 2016.
- CAREY D. E., YANG Y., MCNAMRA P. J., MAYER B. K.; Recovery of agricultural nutrients from biorefineries. **Bioresource Technology**, v. 215, p. 186-198, setembro 2016.
- CHATZIFRAGKOU A., KOSIK O., PRABHAKUMARI P. C., LOVEGROVE A., FRAZIER R. A., SHEWRY P. R., CHARALAMPOPOULOS; Biorefinery strategies for upgrading Distillers' Dried Grains with Solubles (DDGS). **Process Biochemistry**, v. 50, issue 12, p. 2194-2207, dezembro 2015.
- CHEMICAL ENGINEERING. **The path to biorefineries**. Disponível em: <http://www.chemengonline.com/>, acesso em 12 de setembro de 2017.
- CHEN H., FU X.; Industrial technologies for bioethanol production from lignocellulosic biomass. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 57, p. 468-478, maio 2016.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar-Safra 2015/2016**. Terceiro levantamento, n. 3, p. 1-65, Brasília: dezembro, 2015.

DEMIRBAS A.; Biorefineries: Current activities and future developments. **Energy Conversion and Management**, v. 50, issue 11, p. 2782-2801, novembro 2016.

DIAZ D. C. L., BARRAGAN L. F. L., CASTRO E. R., ORTEGA J. M. P., HALWAGI E.; Optimal location of biorefineries considering sustainable integration with the environment. **Renewable Energy**, v.100, p 65-77, janeiro 2017.

GHATAK H. R., Biorefineries from the perspective of sustainability: Feedstocks, products and processes. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 15, issue 8, p. 4042-4052, outubro 2011.

HUANG H. J., RAMASWAMY S., TSCHIRNER U. W., RAMARAO B. V.; A review of separation technologies in current and future biorefineries. **Separation and Purification Technology**, v.62, issue 1, p.1- 21, agosto 2008.

JAMBO S. A., ABDULLA R, AZHAR S. H. M., MARBAWI H., GANSAU J. A, RAVINDRA P.; A review on third generation bioethanol feedstock. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 65, p 756-769, novembro 2016.

JONG E. , JUNGMEIER G.; Biorefinery Concepts in Comparison to Petrochemical Refineries. **Industrial Biorefineries and White Biotechnology**, 1st edition, Imprint: Elsevier, maio 2015.

KING D; The future of industrial biorefineries. **World Economic Forum**, 2010

KNOTHE G., RAZON L. F.; Biodiesel fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 58, p. 36-59, janeiro 2017.

KOJOSSIS A. C., TSAKALOVA M., PYRGAKIS K.; Design of integrated biorefineries. **Computers & Chemical Engineering**, v. 81, p. 40-56, outubro 2015.

LIGUIRO R., FARACO V.; Biological processes for advancing lignocellulosic waste biorefinery by advocating circular economy. **Bioresource Technology**, v. 215, p. 13-20, setembro 2016.

MORALES M., QUINTERO J., CONJERIS R., AROCA G., Life cycle assessment of lignocellulosic bioethanol: Environmental impacts and energy balance. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 42, p. 1349-1361, fevereiro 2015.

OLIVEIRA F. C. , COELHO S. T.; History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review. **Renewable and Sustainable Energy Review**, novembro 2016, in press.

PARAJULI R., DALGAARD T., JORGENSEN U., ADAMSEN A. P. S., KNUDSEN M. T., BIRKVED M., GYLLING M., SCHJØRRING J. K.; Biorefining in the prevailing energy and materials crisis: a review of sustainable pathways for biorefinery value chains and sustainability assessment methodologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p.244-263, março 2015.

PÉREZ A. T. E., CAMARGO M., RINCÓN P. C. N., MARCHANT M. A.; Key challenges and requirements for sustainable and industrialized biorefinery supply chain design and management: A bibliographic analysis. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 69, p. 350-359, março 2017.

PINEDA F. S. N., RODRÍGUEZ S. A. B., HANDLER R., RIVERO J. C. S.; Advances on the processing of *Jatropha curcas* towards a whole-crop biorefinery. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 54, p. 247-269, fevereiro 2016.

RAMKUMAR S., KIRUBAKAN V; Biodiesel from vegetable oil as alternate fuel for C. I engine and feasibility study of thermal cracking: A critical review. **Energy Conversion and Management**, v. 118, p. 155-169, junho 2016.

RAMOS L., E., TRUGILHO P. F., REZENDE R. N., DE ASSIS C. O., BALIZA A. E. R.; Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v 31, n 66, p 103-112, abr/jun 2011.

RATHORE A. S., CHOPDA V. R., GOMES J.; Knowledge management in a waste based biorefineries QbD paradigm. **Bioresource Technology**, v. 215, p. 63-75, setembro 2016.

RODRIGUES, J. A. R. Do engenho à biorrefinaria, a usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis. **Química Nova**, São Paulo, v.34, n.7, p. 1242-1254, 2011

SAJJADI B. RAMAN A. A A., ARADIYAN H.; A comprehensive review on properties of edible and non-edible vegetable oil-based biodiesel: Composition, specifications and prediction models. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 63, p. 62-92, setembro 2016.

SALUJA R. K., KUMAR V., SHAM R., Stability of biodiesel- A review. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 62, p. 866-881, setembro 2016.

SARMA S. J., PACHAPUR V., BRASR S. K., BIHAN Y. L., BUELNA G.; Hydrogen biorefinery: Potential utilization of the liquid waste from fermentative hydrogen production. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 50, p. 942-951, outubro 2015.

SIRAJUNNISA A. R., SUREDHIRAN D.; Algae- A quintessential and positive resource of bioethanol production: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 66, p. 248-267, dezembro 2016.

SUNDUS F., FAZAL M. A., MAJUSKI H. H.; Tribology with biodiesel: A study on enhancing biodiesel stability and its fuel properties. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 70, p. 399-412, abril 2017.

XIE M. Z., YIN Z., ZHOU Q.; Biorefinery approach for cassava-based industrial wastes: Current status and opportunities. **Bioresour. Technology**, v. 215, p. 50-62, setembro 2016.

ZABANIOTOU A., KANTARELIS E., SKOULOU V., CHARTZIAVGIOUSTIS TH.; Bioenergy production for CO₂ mitigation and rural development via valorization of low value crop residues and their upgrade into energy carriers: A challenge for sunflower and soya residues. **Bioresour. Technology**, volume 101, issue 2, pages 619-623, January 2010.